

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
21. Juni 2001 (21.06.2001)

PCT

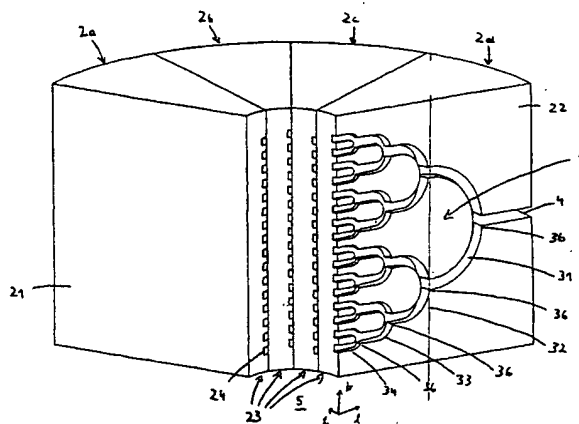
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 01/43857 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: B01F 5/06, (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): INSTITUT FÜR MIKROTECHNIK MAINZ GMBH [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 18-20, 55129 Mainz (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/12736
- (22) Internationales Anmeldedatum: 14. Dezember 2000 (14.12.2000) (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): EHRFELD, Wolfgang [DE/DE]; Kehlweg 22, 55124 Mainz (DE). HESSEL, Volker [DE/DE]; Über dem Berg 4, 65510 Hünstetten-Wallbach (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 199 61 257.9 18. Dezember 1999 (18.12.1999) DE (74) Anwälte: FUCHS, Jürgen, H. usw.; Abraham-Lincoln-Strasse 7, 65189 Wiesbaden (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MICROMIXER

(54) Bezeichnung: MIKROVERMISCHER



(57) Abstract: Micromixers constitute a main component of microreactors that have three-dimensional microstructures in a fixed matrix, in which chemical reactions take place. In said micromixer, fluids from their respective supply chambers are divided into spatially separate fluid streams using a network of microchannels allocated to the respective streams. Said streams then emerge as jets with identical volumetric flows for each fluid into a mixing chamber. The invention aims to ensure that identical volumetric flows are achieved for each fluid at the respective microchannel outflow and to produce a micromixer with a simple, compact construction. Wedge-shaped plates can be used as the supply elements (2a-d). Said plates can be assembled to form at least one ring sector which surrounds the mixing chamber (5) in the form of a curve. Alternatively, planar plates can be used which comprise a cavity in their central region, into which the microchannels (31-34) emerge, in such a way that the stacked plates form the mixing chamber (5). The microchannels (31-34) provided for each fluid form one or more symmetrical bifurcation cascades (3) comprising at least two stages. The micromixer can be used in microreactors, for example in the field of combined chemistry, for creating emulsion and gaseous/liquid dispersions and for gas-phase catalysis.

(57) Zusammenfassung: Mikrovermischer bilden eine Hauptkomponente sogenannter Mikroreaktoren, die über dreidimensionale Mikrostrukturen in fester Matrix verfügen, in denen chemische Umsetzungen durchgeführt werden. Im Mikrovermischer werden Fluide aus ihren jeweiligen Zuführkammern durch eine jeweils zugeordnete Schar von Mikrokanälen in räumlich getrennte Fluidströme aufgeteilt, die dann als Fluidstrahlen mit für das jeweilige Fluid gleichen Volumenströmen in eine Mischkammer austreten. Dabei muss gewährleistet werden,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

BEST AVAILABLE COPY

WO 01/43857 A1



(81) Bestimmungsstaaten (*national*): CN, JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

**Veröffentlicht:**

— Mit internationalem Recherchenbericht.

— Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen.

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

dass an jedem Mikrokanalausgang je Fluid identische Volumenströme vorliegen. Wichtig ist auch eine einfache und kompakte Bauweise des Mikrovermischers. Als Zuführelemente (2a-d) können keilförmige Platten verwendet werden, die mindestens zu einem Ringsektor zusammensetzbar sind, der die Mischkammer (5) bogenförmig umgibt, oder plane Platten, die im mittleren Bereich eine Durchbrechung aufweisen, in die die Mikrokanäle (31-34) einmünden, so dass die übereinandergestapelten Platten die Mischkammer (5) bilden. Die für jedes Fluid vorgesehenen Mikrokanäle (31-34) bilden eine oder mehrere symmetrische, mindestens zwei Stufen umfassende Bifurkationskaskade (3). Einsatz in Mikroreaktoren für beispielsweise die kombinatorische Chemie zur Erzeugung von Emulsion und Gas/flüssig-Dispersionen und die Gasphasen-Katalyse.

## Mikrovermischer

### **Beschreibung:**

Die Erfindung betrifft einen statischen Mikrovermischer gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Die Erfindung betrifft auch einen statischen Mikrovermischer gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 15.

Mikrovermischer bilden eine Hauptkomponente sogenannter Mikroreaktoren, die über dreidimensionale Mikrostrukturen in fester Matrix verfügen, in denen chemische Umsetzungen durchgeführt werden. Wachsende Bedeutung erlangen die Mikroreaktoren beispielsweise in der kombinatorischen Chemie für die Erzeugung von Emulsionen und Gas/flüssig-Dispersionen und in der Gasphasen-Katalyse.

Im Mikrovermischer werden typischerweise mindestens zwei Fluide aus ihren jeweiligen Zuführkammern durch eine jeweils zugeordnete Schar von Mikrokanälen in räumlich getrennte Fluidströme aufgeteilt, die dann als Fluidstrahlen mit für das jeweilige Fluid gleichen Volumenströmen in eine Misch- oder Reaktionskammer austreten. Jeder Fluidstrahl wird benachbart zu einem Strahl eines anderen Fluids in die Misch- und Reaktionskammer geführt, in der durch Diffusion und/oder Turbulenz die Vermischung stattfindet. Hierbei kommt es darauf an, daß durch die Mikrokanäle identische Volumenströme je eines Fluids in die Misch- oder Reaktionskammer eingeleitet werden, weil andernfalls in der Misch- oder Reaktionskammer räumlich unterschiedliche Mischverhältnisse herrschen würden, die das Misch- oder Reaktionsergebnis verfälschen. Da die Volumenströme durch Druckverluste in

den Mikrokanälen beeinflußt werden, müssen die Mikrokanalsysteme derart ausgestaltet werden, daß alle Mikrokanalzweige einen gleichen - und idealerweise niedrigen Druckverlust aufweisen.

Aus der WO 95/30476 ist ein statischer Mikrovermischer bekannt, der eine Mischkammer und ein Führungsbauteil für die getrennte Zufuhr der zu mischenden Stoffe vorsieht. Das Führungsbauteil besteht aus plattenartigen Elementen in Form von dünnen Folien mit jeweils einer Schar paralleler, geradliniger Nuten, wobei diese plattenartigen Elemente übereinandergeschichtet sind. Die Nuten der übereinanderliegenden Folien weisen eine zur Mikro-Vermischer-Längsachse abwechselnde Schräge auf, so daß die an die Mischkammer angrenzenden Öffnungen der Kanäle fluchtend übereinanderliegen und an der Fluideintrittsseite hin zu getrennten Eintrittskammern divergieren. Die Kanäle des Führungsbauteils weisen jeweils die gleiche Länge und damit den gleichen Strömungswiderstand auf. Da die Fluide aber aufgrund der schrägen Anordnung der Mikrokanäle zu unterschiedlichen Seiten gerichtet in die Mischkammer einströmen, ist die Mischungseffektivität an den Randzonen aufgrund des Wandreibungseinflusses der Mischkammer geringer als im Zentrum.

Zur Erhöhung der örtlichen Effektivität der Vermischung wird in der DE 195 40 292 C1 vorgeschlagen, daß die jeweiligen Scharen von Nuten in den übereinandergeschichteten Folien jeweils bogenförmig gekrümmt und abwechselnd von der Mischkammer zu je einer der beiden Zufuhrkammern verlaufen, so daß alle Nuten parallel zueinander ausgerichtet in die Mischkammer münden. Zur Erzielung gleicher Strömungswiderstände wird angegeben, die Seiten des Führungsbauteils, die an die Zufuhrkammern grenzen, gegenüber der an die Mischkammer grenzende Seite so zu neigen, daß die Kanäle eine annähernd gleiche Länge aufweisen. Zur Vermeidung gekrümmter Eintrittsflächen wird angegeben, die Flächen entsprechend einer nach einer angegebenen Formel zu bestimmenden Näherungsgerade

auszurichten. Diese erlaubt jedoch nur kleine Bogenwinkel der Nuten, so daß eine Anordnung der Zuführkammern an zwei sich gegenüberliegenden Seiten des Führungsbauteils oder eine getrennte Zufuhr von mehr als zwei Fluiden kaum realisierbar ist.

Die bekannten Mikrokanalsysteme haben den Nachteil, daß spezielle Zuführkammern erforderlich sind und daß alle von den jeweiligen Zuführkammern abgehenden Mikrokanäle gleichmäßig mit dem jeweiligen Fluid versorgt werden müssen, d.h., daß eine Homogenisierung des Strahldrucks der einströmenden Fluide erforderlich ist. Hierzu sind ausgedehnte Zuführkammern vorzusehen, was zu Platzproblemen führen kann und die Fluidverweilzeit erhöht. Trotz dieser Zuführkammern ist eine Homogenisierung des Strahldrucks nur über einen begrenzten Druckbereich und somit Volumenstrombereich gewährleistet.

In der DE 35 46 091 C2 wird ein Querstrommikrofilter beschrieben, dem ein Zuströmverteiler und ein Konzentratsammler vor- bzw. nachgeschaltet ist. Ein solcher Zuströmverteiler kann in Form einer Bifurkationsstruktur aufgebaut sein, wobei eine der Anzahl der Bifurkationskaskaden entsprechende Anzahl von gekrümmten Trennwänden zur Bildung der Bifurkationsstruktur erforderlich ist.

In "A Microflow Reactor for two Dimensional Investigations of In Vitro-Amplification-Systems" in Microreaction Technology; proceedings of the first international conference on microreaction technology (Editor: W. Ehrfeld), Springer 1998, wird ein Mikroreaktor vorgestellt, der in einer Zuführschicht eine Sammelkammer aufweist, in die gegenüberliegend zwei Bifurkationskaskaden einmünden, durch die ein Fluid eingeleitet wird. Von dort aus gelangt das Fluid über eine Druckbarriere in eine Reaktionskammer.

In Chemische Technik 26, Jg. 1997, Nr. 1, S. 131-134 werden Mikroreaktoren für die Chemie beschrieben, die für die Zufuhr der Reaktanten mehrere übereinanderliegende Platten mit Nutenstruktur aufweisen. Hinter dem Reaktions- und Mischbereich ist nach Durchlaufen einer Wärmetauscherstrecke eine Bifurkationskaskade für den Zusammenfluß der einzelnen Ströme vorgesehen.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Mikrovermischer mit Mikrokanälen zu schaffen, an deren Ausgang je Fluid identische Volumenströme vorliegen, wobei sich der Mikrovermischer durch eine einfache und kompakte Bauweise auszeichnen soll.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Zuführelemente keilförmige Platten sind, die mindestens zu einem Ringsektor zusammensetzbar sind, der die Mischkammer bogenförmig umgibt, und daß die für jedes Fluid vorgesehenen Mikrokanäle eine symmetrische mindestens zwei Stufen  $i$  ( $i = 1$  bis  $n$ , mit  $n \geq 2$ ) umfassende Bifurkationskaskade bilden.

Diese Aufgabe wird außerdem dadurch gelöst, daß die Zuführelemente plane Platten sind, die im mittleren Bereich eine Durchbrechung aufweisen, in die die Mikrokanäle einmünden, so daß die übereinander gestapelten Platten die Mischkammer bilden, und daß die für jedes Fluid vorgesehenen Mikrokanäle eine oder mehrere symmetrische, mindestens zwei Stufen  $i$  ( $i = 1$  bis  $n$ , mit  $n \geq 2$ ) umfassende Bifurkationskaskaden bilden.

Die sukzessive Aufteilung eines Fluidstroms in zwei gleiche Teilströme, die ihrerseits in  $2 + 2 = 4$  gleiche Teilströme aufgeteilt und stufenweise entsprechend weiter aufgeteilt werden, hat zur Folge, daß alle Ströme eines Fluids den gleichen Bedingungen unterworfen sind und somit auch je Fluid identische Volumenströme in die Misch- oder Reaktionskammer austreten. Das Aufteilen in Teilströme, die alle möglichst gleichen Bedingungen unterworfen

sind, gelingt über das Verringern der Querschnitte der Mikrokanäle von Stufe zu Stufe. Das Verringern der Querschnitte kann je nach Flächenform über die Reduzierung der Breite und/oder Tiefe erfolgen oder bei runden Querschnitten über die Reduzierung des Radius. Gerade bei keilförmigen Platten als Zuführelementen bietet es sich an, die Tiefe zu variieren, da auf diese Weise das als Zuführelement zur Verfügung stehende Volumen gut genutzt wird. Daß außerdem alle Teilströme eines Fluids aus einer Vorratskammer gespeist werden, trägt noch weiter zur Gleichartigkeit der Bedingungen bei.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß jede Bifurkationskaskade von einem einzigen Fluidstrom (Zuführkanal) ausgeht, der mit der Vorratskammer in Verbindung steht, so daß keine räumlich ausgedehnten Zuführkammern notwendig sind. Die Zuführkanäle können weitaus besser an die jeweiligen örtlichen Bedingungen angepaßt werden, so daß ein kompakter Mikrovermischer realisiert werden kann.

Vorratskammern können außerhalb des Mikrovermischers an beliebiger Stelle und in beliebiger Anzahl angeordnet werden, so daß auch das Mischen von mehr als zwei Fluiden durchgeführt werden kann.

Zur kompakten Bauweise tragen auch die als keilförmige Platten ausgebildeten Zuführelemente bei, die zu einem Ringsektor oder gar zu einem geschlossenen Ring zusammengesetzt werden können. Da die Tiefe der Mikrokanäle in Richtung Mischkammer abnimmt, kann die Keilform optimal genutzt werden. Die Mikrokanäle mit großer Kanaltiefe bzw. Querschnittsfläche sind im dickeren Bereich der keilförmigen Platten und die Mikrokanäle mit geringer Kanaltiefe bzw. Querschnittsfläche sind im dünneren Bereich der Platten angeordnet. Dadurch können bei komplexer Bauweise die Austrittsöffnungen der Mikrokanäle der letzten Bifurkationsstufe dicht nebeneinander gelegt werden. Die Mischkammer kann rotationssymmetrisch, vorzugsweise

zylinderförmig ausgebildet werden, was die Vermischung der in die Mischkammer eingeleiteten Fluide fördert.

Solche Mischkammern zylindrischer Form sind den aus den oben zitierten Schriften bisher bekannten Mischkammern darin überlegen, daß das Verhältnis von aktiver zu inaktiver Fläche größer ist und somit der Gesamtdurchsatz und die Mischeffektivität besser ist. Dabei ist mit aktiver Fläche die Fläche gemeint, aus der Fluidströme austreten, und mit inaktiver Fläche die Fläche, aus der keine Fluidströme austreten. Bei den herkömmlichen, rechteckigen Mischkammern wird nämlich eine von sechs Seiten zur Zufuhr von Fluiden genutzt, während bei der zylindrischen Mischkammer die gesamte Mantelfläche genutzt werden kann.

Durch den gleichzeitigen Einsatz von Bifurkationskaskaden als Fluidführungsstruktur und keilförmigen Platten als Zuführelemente ergibt sich ein Mikrovermischer für die Durchführung von Reaktionen, deren Selektivität und Reproduzierbarkeit sensitiv von der Mischgüte abhängen.

Der Druckverlust innerhalb der Mikrokanäle  $i$ -ter Stufe ( $i = 1$  bis  $n$ ,  $n \geq 2$ ) kann weiter minimiert werden, indem man die geometrischen Abmessungen der Mikrokanäle unterschiedlicher Stufe relativ zueinander verändert.

Man kann die Länge der Mikrokanäle zur Mischkammer hin verkürzen ( $L_{i+1} < L_i$  mit  $L_i$  = Länge der Mikrokanäle der  $i$ -ten Stufe), wobei sich als vorteilhaft erwiesen hat, die Längen derart zu wählen, daß das Verhältnis der Längen zweier aufeinanderfolgenden Stufen konstant ist. Solche Bifurkationskaskaden werden als selbstähnlich bezeichnet.

Besonders in Fällen, in denen die Anzahl  $n$  der Stufen größer oder gleich 3 ist, besteht eine bevorzugte Ausführungsform darin, die Abmessungen der Mikrokanäle nur bis zur vorletzten Stufe von Stufe zu Stufe zu reduzieren. Die Bifurkationskaskade kann dabei bis zur vorletzten Stufe selbstähnlich sein.



Vorzugsweise weist mindestens eine keilförmige Platte auf mindestens einer Keilfläche Mikrokanäle bildende Nuten auf. Der Mikrovermischer kann aus mehreren identischen keilförmigen Platten zusammengesetzt werden, so daß die Herstellungskosten gesenkt werden können.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die keilförmige Platte auf beiden Keilflächen jeweils eine Bifurkationskaskade auf, wobei die an der Stirnseite der keilförmigen Platte mündenden Mikrokanäle der letzten Bifurkationsstufe möglichst in Umfangrichtung der Mischkammer versetzt zueinander angeordnet sind, um den Abstand zu minimieren.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführung hat die keilförmige Platte auf beiden Keilflächen Nuten, die einen Teilquerschnitt der Mikrokanäle aufweisen. Dabei ergänzen die in den aufeinanderliegenden Flächen befindlichen Nuten zweier nebeneinander liegender Zuführelementen sich zum Vollquerschnitt der Mikrokanäle. Auch in dieser Ausführung kann der Mikrovermischer aus mehreren identischen keilförmigen Platten zusammengesetzt werden, was zur Senkung der Herstellungskosten führt. Auf diese Weise lassen sich ansonsten schwierig herzustellende, strömungsgünstige Rundquerschnitte erzeugen.

In einer weiteren Ausführungsform sind die Mikrokanäle derart gestaltet, daß die Breite und/oder Tiefe sowie ggf. auch die Länge der n-ten Stufe, d.h. der letzten Stufe vor dem Einmünden in die Mischkammer, größer ist als in der Stufe davor (Stufe n-1), d.h. vorletzten Stufe. Dadurch erreicht man ein höheres Verhältnis von aktiver zu inaktiver Fläche bezogen auf die Mantelfläche der Mischkammer, was zur besseren Vermischung der Fluide beiträgt. Grundsätzlich können die Nuten in den einzelnen Zuführelementen zueinander versetzt angeordnet werden und zwar derart, daß, wenn zwei Fluide A, B alternierend auf die einzelnen Zuführelemente verteilt wären, ein Teilstrom des Fluides B beim Austritt in die Mischkammer von vier

Teilströmen des Fluides A umgeben ist und umgekehrt. Vergrößert man nun auf der n-ten Stufe verglichen mit Stufe  $n - 1$  den Querschnitt der Mikrokanäle, insbesondere Breite und/oder Tiefe der Mikrokanäle, kann erreicht werden, daß die Austrittsflächen der Fluide in axialer oder Umfangsrichtung der Mischkammer überlappen. Dies erhöht bei hinreichend kleinem Abstand der Austrittsflächen zueinander die Vermischungskontaktfläche und damit auch die Vermischungseffektivität.

Vorzugsweise sind die Bifurkationskaskaden für jedes Fluid an einem gemeinsamen Zuführungskanal angeschlossen. Dies hilft, die Gleichartigkeit der äußeren Bedingungen für die Fluidströme eines Fluides zu gewährleisten und erhöht so die Reproduzierbarkeit der Mischung.

Um den Mikrovermischer möglichst kompakt bauen zu können, sind in einer bevorzugten Ausführung die gemeinsamen Zuführkanäle in Form von Bohrungen in die Zuführelemente integriert oder als Nuten in das die Zuführelemente umgebende Gehäuse eingebracht.

Die Ausführung der Zuführelemente als plane Platten mit einer Durchbrechung in ihrer Mitte, in die die Mikrokanäle münden, so daß die übereinandergestapelten Platten zusammen das Kernstück des Mikrovermischers ergeben, wobei die übereinanderliegenden Durchbrechungen die Mischkammer bilden, erlauben die Herstellung eines besonders kompakten, stabilen, einfach und kostengünstig zu produzierenden Mikrovermischers. Zu den Vorteilen der Bifurkation der Mikrokanäle wird auf die vorhergehenden Ausführungen verwiesen.

Besonders bevorzugt werden kreisringförmige Platten als Zuführelemente. Durch sie erhält man Mischkammern zylindrischer Form, die den Vorteil aufweisen, daß das Verhältnis von aktiver zu inaktiver Fläche größer ist und somit der Gesamtdurchsatz und die Mischeffektivität besser sind.

Der Druckverlust innerhalb der Mikrokanäle i-ter Stufe ( $i = 1$  bis  $n$ ,  $n \geq 2$ ) wird minimiert, indem die Länge der Mikrokanäle zur Mischkammer hin verkürzt wird ( $L_{i+1} < L_i$  mit  $L_i$  = Länge der Mikrokanäle der i-ten Stufe). Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Längen derart zu wählen, daß das Verhältnis der Längen zweier aufeinanderfolgenden Stufen konstant ist. Solche Bifurkationskaskaden werden als selbstähnlich bezeichnet.

Wie auch bei den keilförmigen Platten werden die Mikrokanäle vorzugsweise aus in den Platten ausgebildeten Nuten gebildet. Vorteilhafterweise sind die Mikrokanäle der einen und der anderen Seite zueinander versetzt angeordnet. Dies reduziert die Abstände und erhöht dadurch die Mischeffektivität.

In einer weiteren Ausführungsform weisen die Nuten jedes Zuführelementes einen Teilquerschnitt der Mikrokanäle auf, wobei die in den aufeinanderliegenden Flächen befindlichen Nuten sich zum Vollquerschnitt der Mikrokanäle ergänzen. Durch diese und die vorhergehenden Maßnahmen können die Herstellungskosten gesenkt werden, da der Mikrovermischer aus mehreren identischen planen Platten zusammengesetzt werden kann.

Um den Mikrovermischer noch kompakter bauen zu können, sind in einer bevorzugten Ausführungsform die Zuführkanäle für die einzelnen Bifurkationskaskaden in Form von Durchbrechungen in die Zuführelemente integriert. Dabei muß beachtet werden, daß in jeder planen Platte auch für die Zuführkanäle Durchbrechungen vorgesehen sein sollten, an denen in dieser speziellen Platte keine Bifurkationskaskade angeschlossen ist. Der Mikrovermischer kann aus identischen Zuführelementen aufgebaut werden, die gegeneinander derart verdreht sind, daß nicht nur eine durchgehende Mischkammer, sondern auch für jedes Fluid durchgehende Zuführkanäle gebildet werden.

Beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert:

Es zeigen:

- Figur 1a eine perspektivische Darstellung von Zuführelementen mit auf einer Seite Mikrokanäle bildenden Nuten;
- Figur 1b eine perspektivische Darstellung von Zuführelementen mit auf beiden Seiten Mikrokanäle bildenden Nuten;
- Figur 1c eine weitere perspektivische Darstellung von Zuführelementen mit auf beiden Seiten Mikrokanäle bildenden Nuten;
- Figur 2a eine perspektivische Darstellung von in ein Gehäuse eingefügten Zuführelementen mit Zuführkanälen ober- und unterhalb der Zuführelemente;
- Figur 2b eine perspektivische Darstellung von in ein Gehäuse eingefügten Zuführelementen mit Zuführkanälen seitlich der Zuführelemente;
- Figur 2c eine perspektivische Darstellung von in ein Gehäuse eingefügten Zuführelementen mit Zuführkanälen, die in die Zuführelemente integriert sind;
- Figur 3a eine Draufsicht auf zwei Zuführelemente, die als plane, kreisringförmige Platten ausgebildet sind;
- Figur 3b-d unterschiedliche Nutenanordnungen in Zuführelementen, die als plane, kreisringförmige Platten ausgebildet sind.

In Figur 1a sind mehrere zu einem Ringsektor aufgereichte Zuführelemente 2a - d perspektivisch dargestellt. Dadurch ergibt sich eine zylindrische Mischkammer 5, wobei die Mantelfläche durch die Stirnseiten 23 der Zuführelemente 2a-d gebildet werden. Diese Zuführelemente 2a-d sind keilförmige Platten, die auf jeweils einer Keilfläche 22 als Mikrokanäle 31 - 34 dienende Nuten 24 aufweisen. Eine glatte Keilfläche 21 deckt dabei die Mikrokanäle in der benachbarten Keilfläche 22 ab. Der Übersichtlichkeit wegen sind nur eine Nut 24 und ein Mikrokanal 31 - 34 exemplarisch bezeichnet.

Um die Keilform der Zuführelemente 2a - d optimal auszunutzen, sind Mikrokanäle 31 - 34 sowie der Zuführungskanal 4 derart ausgeführt, daß sie bei gleicher Breite unterschiedliche Tiefe vorweisen, wobei in Figur 1a der Querschnitt rechteckig ist. Nach jeder Bifurkation 36 nimmt die Tiefe von außen nach innen zur Mischkammer 5 hin ab. Die Strömungsrichtung der Fluide ist radial von außen nach innen gerichtet. Für das Keilelement 2d ist ein Koordinatensystem mit den Richtungen l, b und t eingezeichnet. In Richtung von l wird die Länge eines Mikrokanals gemessen, in Richtung von b die Breite und in Richtung von t die Tiefe eines Mikrokanals.

Die Fluidführungsstruktur 3 ist im in Figur 1a dargestellten Beispiel als vierstufige Bifurkationskaskade ausgeführt. Aus einer Vorratskammer außerhalb der Vorrichtung fließt der Fluidstrom in den Zuführungskanal 4. Dieser gabelt sich in zwei Mikrokanäle 31 erster Stufe, so daß der Fluidstrom in zwei gleiche Teilströme aufgeteilt wird. Beide Mikrokanäle 31 erster Stufe gabeln sich in jeweils zwei Mikrokanäle 32 zweiter Stufe auf, was zur Folge hat, daß auf der zweiten Stufe der ursprüngliche Fluidstrom in vier Teilströme aufgeteilt ist. Diese symmetrische Bifurkation wird im gezeigten Beispiel bis zur vierten Stufe fortgesetzt und resultiert in der Aufteilung des Fluidstromes in  $2^i$ -Teilströme, die von den Mikrokanälen 34 vierter Stufe in die

Mischkammer 5 münden und sich dort mit den Teilströmen aus den anderen Zuführelementen vermischen können.

In Figur 1a sind die Nuten 24 in den Zuführelementen 2a - d versetzt angeordnet und zwar derart, daß, angenommen in den Zuführelementen 2a und c fließe Fluid A und in Zuführelementen 2b und d Fluid B, ein Teilstrom des Fluides B beim Austritt in die Mischkammer 5 von vier Teilströmen des Fluides A umgeben ist und umgekehrt. Dies trägt zur besseren Vermischung beider Fluide bei.

In Figur 1b ist ein weiteres Beispiel für die Ausgestaltung der Zuführelemente 2 dargestellt. In diesem Fall sind auf beiden Teilflächen 21 und 22 Nuten 24 angebracht, die einen Teilquerschnitt der Mikrokanäle 30 aufweisen. Beim Aneinanderlegen zweier Keilflächen 21 und 22 ergänzen sich zwei gegenüberliegende Nuten 24 zum Vollquerschnitt eines Mikrokanals 30. Weiterhin ist der Querschnitt der Mikrokanäle 30 abgerundet. Da auch in diesem Fall nach innen hin die Tiefe der Mikrokanäle 30 bei konstanter Breite abnimmt, haben die Mikrokanäle 30 unmittelbar bei der Mischkammer 5 runden Querschnitt. Auch in Figur 1b sind wegen besserer Übersichtlichkeit nur eine Nut 24 und die Mikrokanäle 30 eines Teilstromes bezeichnet.

Figur 1c zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Zuführelemente 2. In diesem Fall nehmen sowohl Tiefe als auch Länge der Mikrokanäle 30 von Stufe i auf Stufe i + 1 zu, aber von Stufe n - 1 auf Stufe n, d.h. der letzten Stufe vor Einmünden in die Mischkammer 5, nehmen beide Abmessungen wieder zu. Dies ist auch in der Vergrößerung des aufgeschnittenen Zuführelementes 2' dargestellt. Das Zuführelement 2' ist längs der Schnittfläche 25 derart aufgeschnitten, daß ein Mikrokanal 30 auf konstant halber Breite durchgeschnitten wird. Tiefe und Länge des Mikrokanals vierter Stufe 34 sind deutlich größer als Tiefe und Länge des Mikrokanals dritter Stufe 33. Daher ergibt sich für die Mischkammer ein höheres Verhältnis von

Fluidaustrittsfläche zu Gesamtmantelfläche, was die Vermischungseffektivität steigert. Die einzelnen Nuten 24 sind wie in Figur 1a derart zueinander angeordnet, daß ein Teilstrom eines Fluides von vier Teilströmen eines weiteren Fluides umgeben sein kann. Durch die große Tiefe der Mikrokanäle vierter Stufe 34 ergibt sich ein Überlappen der Austrittsflächen in Umfangsrichtung der Mischkammer. Dies erhöht die Vermischungskontaktfläche der in die Mischkammer 5 austretenden Fluide und damit auch die Vermischungseffektivität.

In Figur 2a sind die Zuführelemente 2 in das Gehäuse 1 eingepaßt, wobei das Gehäuse 1 aus zwei Kreisscheiben besteht, in die Aussparungen zum Einsetzen der Zuführelemente 2 und zum Bilden der Mischkammer 5 eingearbeitet sind, Zuführkanäle 4a und b, sind oberhalb und unterhalb der Zuführelemente 2 ringförmig im Gehäuse 1 umlaufend angeordnet in einer der beiden Kreisscheiben ist ein Fluidabfuhrkanal 6 derart angeordnet, daß er zentral in die untere Stirnseite der Mischkammer 5 mündet.

Figur 2b zeigt ein anderes Ausführungsbeispiel des Gehäuses 1, bei dem sich beide Zuführkanäle 4a und b in der gleichen Kreisscheibe wie der Fluidabfuhrkanal 6 befinden und seitlich um die Zuführungselemente herum im Gehäuse 1 umlaufen.

Figur 2c zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel für sowohl das Gehäuse 1 als auch die Zuführelemente 2. In diesem Fall befinden sich die ringförmig umlaufenden Zuführkanäle 4a und b nicht in den das Gehäuse 1 bildenden Kreisplatten, sondern sind als Durchbohrungen in die Zuführelemente 2 integriert und laufen dort ringförmig um.

Figur 3a zeigt zwei Zuführelemente 2, die als jeweils eine plane, kreisringförmige Platte 2a,b ausgebildet sind. Die Platte 2b weist in ihrer Mitte eine kreisförmige Durchbrechung 7 auf. Auf ihrem Umfang sind kreisförmige

Durchbrechungen angeordnet, die die Zuführkanäle 4a und 4b bilden für die Fluide A und B bilden. Die Zuführkanäle 4b der Platte 2b sind an Bifurkationskaskaden 3 angeschlossen. Von jedem Zuführkanal 4b geht ein Mikrokanal erster Stufe 31 ab, der sich nach einer Bifurkation 36 in zwei Mikrokanäle zweiter Stufe 32 aufteilt, die sich jeweils ihrerseits in 2 + 2 Mikrokanäle dritter Stufe 33 aufteilen usw.. Die Längen der Mikrokanäle 31 bis 34 nehmen mit zunehmender Stufe ab. Die plane Platte 2a ist identisch mit der planen Platte 2b. Sie ist allerdings um 45° zur Platte 2b verdreht. Dadurch kommen die Zuführkanäle 4a der Platte 2a und 2b sowie die Zuführkanäle 4b der Platten 2a und 2b aufeinander zu liegen. Von den Zuführkanälen 4a gehen in der Platte 2a Bifurkationskaskaden 3 für das Fluid A ab. Durch ein Übereinanderstapeln einer Vielzahl von Platten 2a und 2b ergibt sich ein zylinderförmiger Mikromischer.

In den Figuren 3b bis 3d ist gezeigt, wie die Mikrokanäle 30a, 30b bildenden Nuten 24 in der Oberseite 26 und/oder der Unterseite 27 einer als plane Platte 2 bzw. 2a, b ausgebildeten Zuführelementes angeordnet sein können. Der Übersichtlichkeit halber sind in den Figuren 3b bis 3d die Platten 2, 2a, 2b beabstandet zueinander dargestellt. Aus Stabilitätsgründen kann aber auch erwogen werden, zwischen die Zuführelemente zusätzliche Abstandselemente einzuführen, die Durchbrechungen zur Bildung der Mischkammer und der Zuführkanäle aber keine Bifurkationskaskaden aufweisen würden.

In Figur 3b sind sowohl in der Platte 2a als auch in der Platte 2b die Nuten auf der Oberseite 26a bzw. 26b ausgebildet. Die Nuten in der Platte 2a bilden Mikrokanäle 30a für das Fluid A und die Nuten in der Platte 2b bilden Mikrokanäle 30b für das Fluid B. Die Nuten in beiden Platten sind derart angeordnet, daß die Mikrokanäle 30a und 30b genau übereinanderliegen.

Die Nutenanordnung in Figur 3c unterscheidet sich von der Nutenanordnung in Figur 3b lediglich dadurch, daß die Mikrokanäle 30a und 30b zueinander



versetzt angeordnet sind. Dadurch wird erreicht, daß der Mikrokanal für das eine Fluid von vier Mikrokanälen für das andere Fluid umgeben ist. Dies erhöht die Mischeffektivität.

Die Zuführelemente 2 aus Figur 3d weisen sowohl auf ihrer Oberseite 26 als auch ihrer Unterseite 27 Nuten 24 auf. Die Nuten 24 weisen jeweils einen Teilquerschnitt der Mikrokanäle 30a und 30b auf und ergänzen sich zum Vollquerschnitt der Mikrokanäle 30a, 30b in den aufeinanderliegenden Flächen 26 und 27. Daher sind die Nuten der Oberseite 26 versetzt zu den Nuten der Unterseite 27 angeordnet. Wenn die Teilquerschnitte der einen Seite für das eine Fluid und die Teilquerschnitte der anderen Seite für das andere Fluid genutzt werden, wird dadurch wieder gewährleistet, daß ein Mikrokanal 30a oder 30b für das eine Fluid von vier Mikrokanälen 30b oder 30a umgeben ist.

**Bezugszeichen**

1	Gehäuse
2a,b,c,d,2'	Zuführelement
3	Fluidführungsstruktur
4a,b	Zuführungskanal A,B
5	Mischkammer
6	Fluidabführungskanal
7	Durchbrechung
21	Keilfläche
22	Keilfläche
23	Stirnseite
24	Nut
25	Schnittfläche
26	Oberseite
27	Unterseite
30a,b	Mikrokanal A,B
31	Mikrokanal erster Stufe
32	Mikrokanal zweiter Stufe
33	Mikrokanal dritter Stufe
34	Mikrokanal vierter Stufe
36	Bifurkation

### Patentansprüche

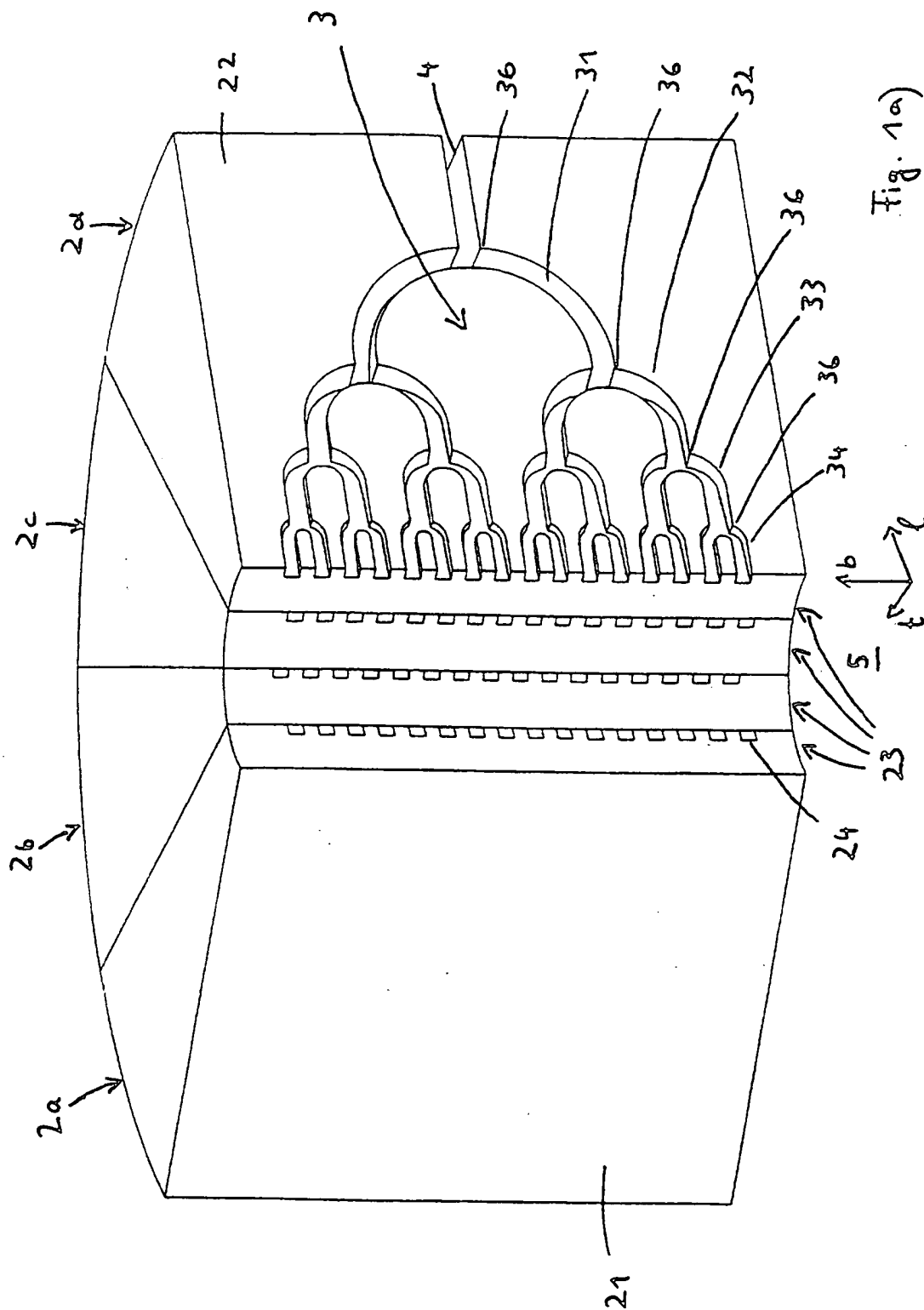
1. Statischer Mikrovermischer mit Zuführkammern für mindestens zwei zu vermischende Fluide, von denen Mikrokanäle zu einer Mischkammer führen, wobei die Mikrokanäle in mindestens zwei aneinanderliegenden Zuführelementen angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**,  
  
daß die Zuführelemente (2) keilförmige Platten sind, die mindestens zu einem Ringsektor zusammensetzbar sind, der die Mischkammer (5) bogenförmig umgibt, und  
  
daß die für jedes Fluid vorgesehenen Mikrokanäle (30) eine symmetrische mindestens zwei Stufen  $i$  ( $i = 1$  bis  $n$ , mit  $n \geq 2$ ) umfassende Bifurkationskaskade bilden.
2. Mikrovermischer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Querschnitt der Mikrokanäle (30) von Stufe zu Stufe abnimmt.
3. Mikrovermischer nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Länge der Mikrokanäle (30) von Stufe zu Stufe abnimmt.
4. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bifurkationskaskade selbstähnlich ist.
5. Mikrovermischer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Querschnitt der Mikrokanäle (30) bis zur Stufe  $n-1$  von Stufe zu Stufe abnimmt.

6. Mikrovermischer nach Anspruch 1 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Länge der Mikrokanäle (30) bis zur Stufe n-1 von Stufe zu Stufe abnimmt.
7. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens eine keilförmige Platte auf mindestens einer Keilfläche (21,22) Mikrokanäle (30) bildende Nuten (24) aufweist.
8. Mikrovermischer nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die keilförmige Platte auf beiden Keilflächen (21,22) jeweils eine Bifurkationskaskade aufweist, wobei die an der Stirnseite der Platte mündenden Mikrokanäle (30) der letzten Bifurkationsstufe versetzt zueinander angeordnet sind.
9. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Nuten (24) jedes Zuführelementes (2) einen Teilquerschnitt der Mikrokanäle (30) aufweisen und die in den aufeinanderliegenden Flächen befindlichen Nuten (24) sich zum Vollquerschnitt der Mikrokanäle ergänzen.
10. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Querschnitt und/oder die Länge der Mikrokanäle (30) von Stufe n - 1 auf Stufe n zunimmt.
11. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 5 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die in die Mischkammer (5) mündenden Mikrokanäle (3a) in Umfangs- oder axialer Richtung der Mischkammer (5) überlappen.

12. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bifurkationskaskaden für jedes Fluid an einem gemeinsamen Zuführungskanal (4a,b) angeschlossen sind.
13. Mikrovermischer nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß der gemeinsame Zuführungskanal (4a,b) in den Zuführelementen (2) angeordnet ist.
14. Mikrovermischer nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß der gemeinsame Zuführungskanal (4a,b) in einem die Zuführelemente (2) umgebenden Gehäuse (1) angeordnet ist.
15. Statischer Mikrovermischer mit Zuführkammern für mindestens zwei zu vermischende Fluide, von denen Mikrokanäle zu einer Mischkammer führen, wobei die Mikrokanäle in mindestens zwei aufeinanderliegenden oder durch ein oder mehrere Zwischenelement(e) voneinander beabstandeten Zuführelementen angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Zuführelemente (2) plane Platten sind, die im mittleren Bereich eine Durchbrechung (7) aufweisen, so daß die übereinandergestapelten Platten die Mischkammer (5) bilden, und daß die für jedes Fluid vorgesehenen Mikrokanäle (30) eine oder mehrere symmetrische, mindestens zwei Stufen  $i$  ( $i = 1$  bis  $1$ , mit  $n \geq 2$ ) umfassende Bifurkationskaskaden bilden.
16. Mikrovermischer nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß die planen Platten kreisringförmig ausgebildet sind.
17. Mikrovermischer nach Anspruch 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Länge der Mikrokanäle (30) von Stufe  $i$  zu Stufe  $i + 1$  abnimmt.

18. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 15 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bifurkationskaskade selbstähnlich ist.
19. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 15 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens eine plane Platte (2) auf mindestens einer ihrer beiden Seiten (26,27) Mikrokanäle (30) bildende Nuten (24) aufweist.
20. Mikrovermischer nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß die plane Platte auf beiden Seiten (26,27) jeweils mindestens eine Bifurkationskaskade aufweist, wobei die in die Durchbrechung (7) der Platte mündenden Mikrokanäle (30) der einen und der anderen Seite (26,27) zueinander versetzt angeordnet sind.
21. Mikrovermischer nach Anspruch 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Nuten (24) jedes Zuführelementes (2) einen Teilquerschnitt der Mikrokanäle (30) aufweisen und die in den aufeinanderliegenden Flächen (26,27) befindlichen Nuten (24) sich zum Vollquerschnitt der Mikrokanäle (30) ergänzen.
22. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 15 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bifurkationskaskaden jeweils an einem Zuführkanal (4a,b) angeschlossen sind, die in den Zuführelementen (2) angeordnet sind.

1/8



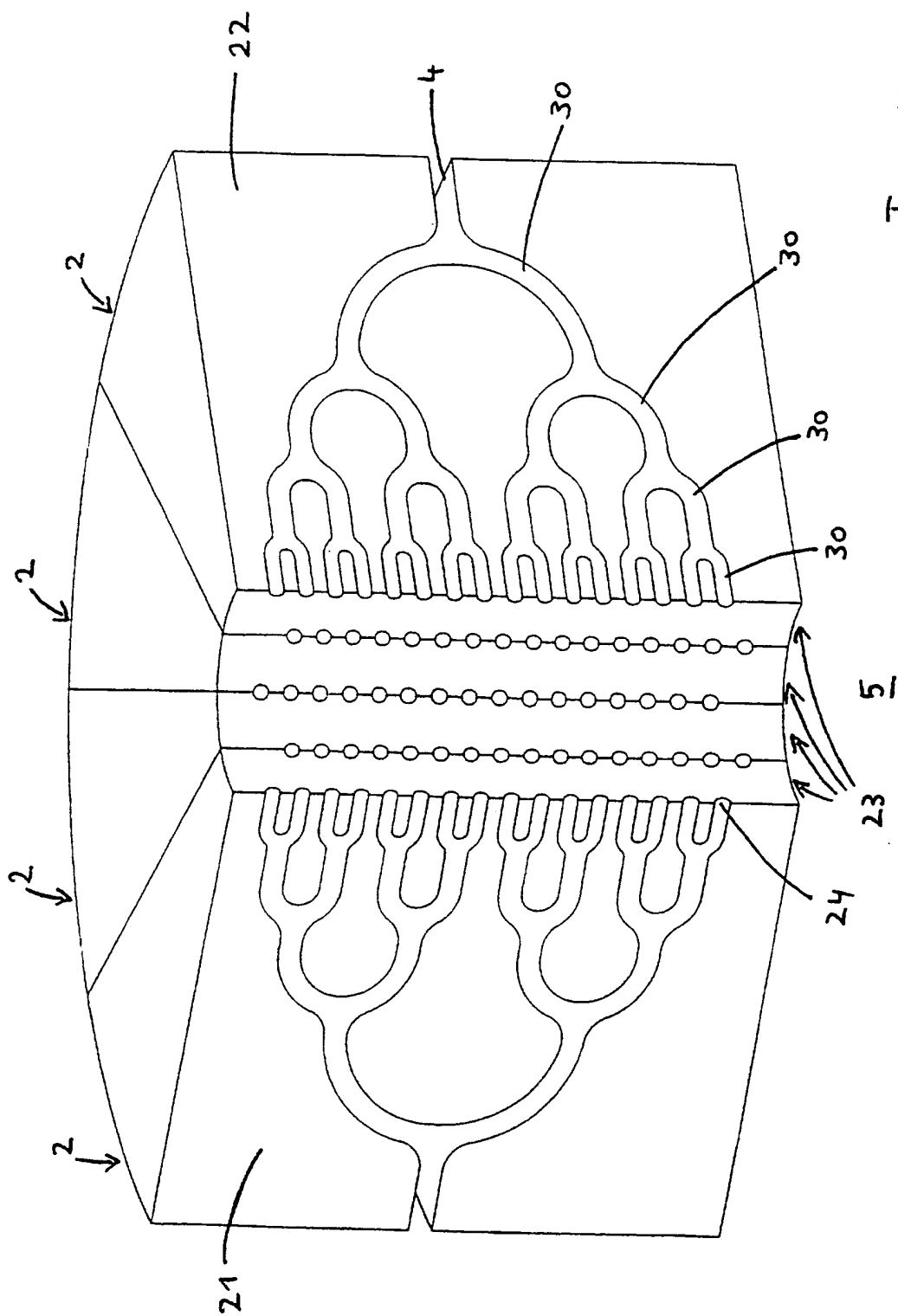
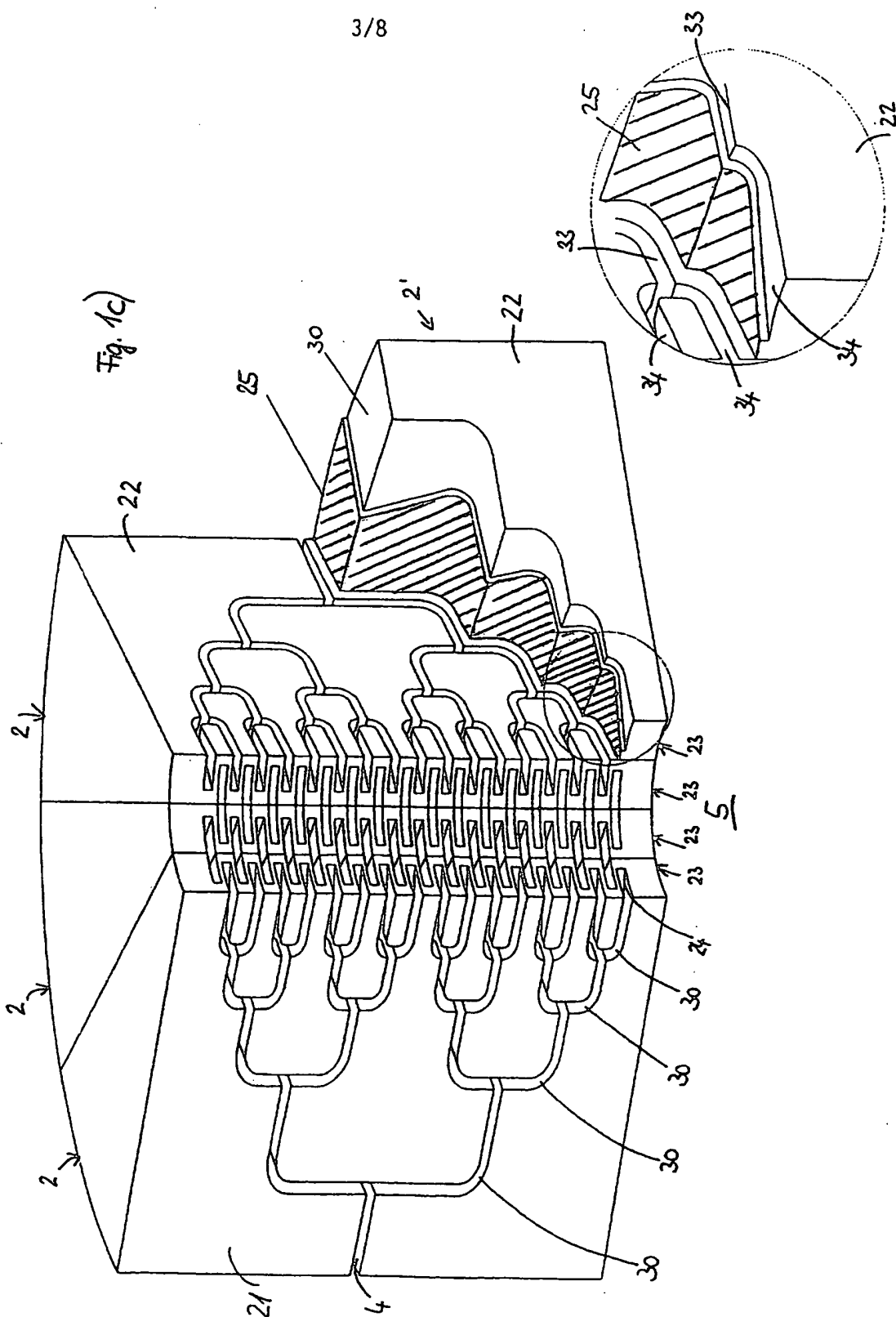


Fig. 16)





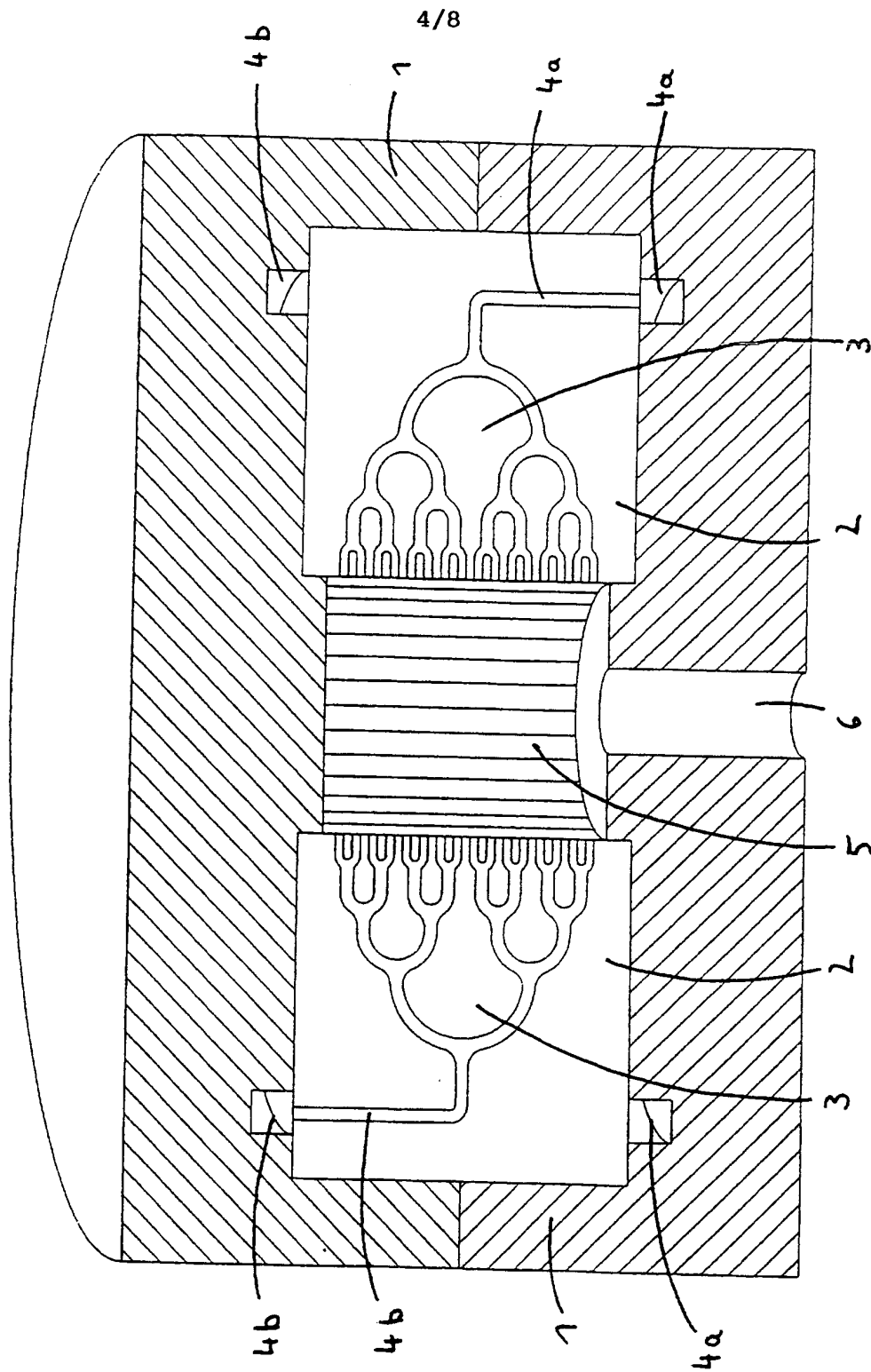


Fig. 2a)

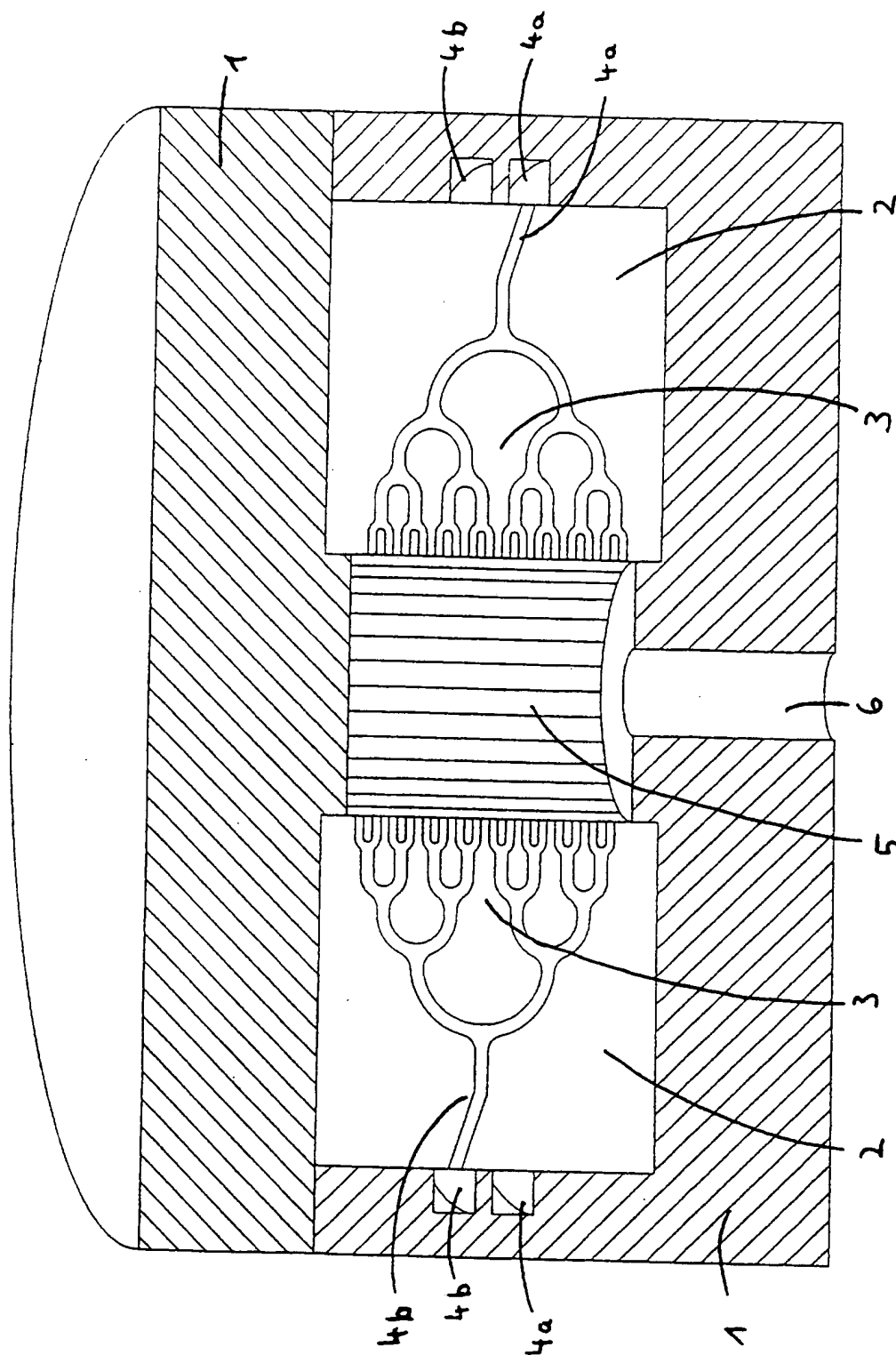


Fig. 2b)

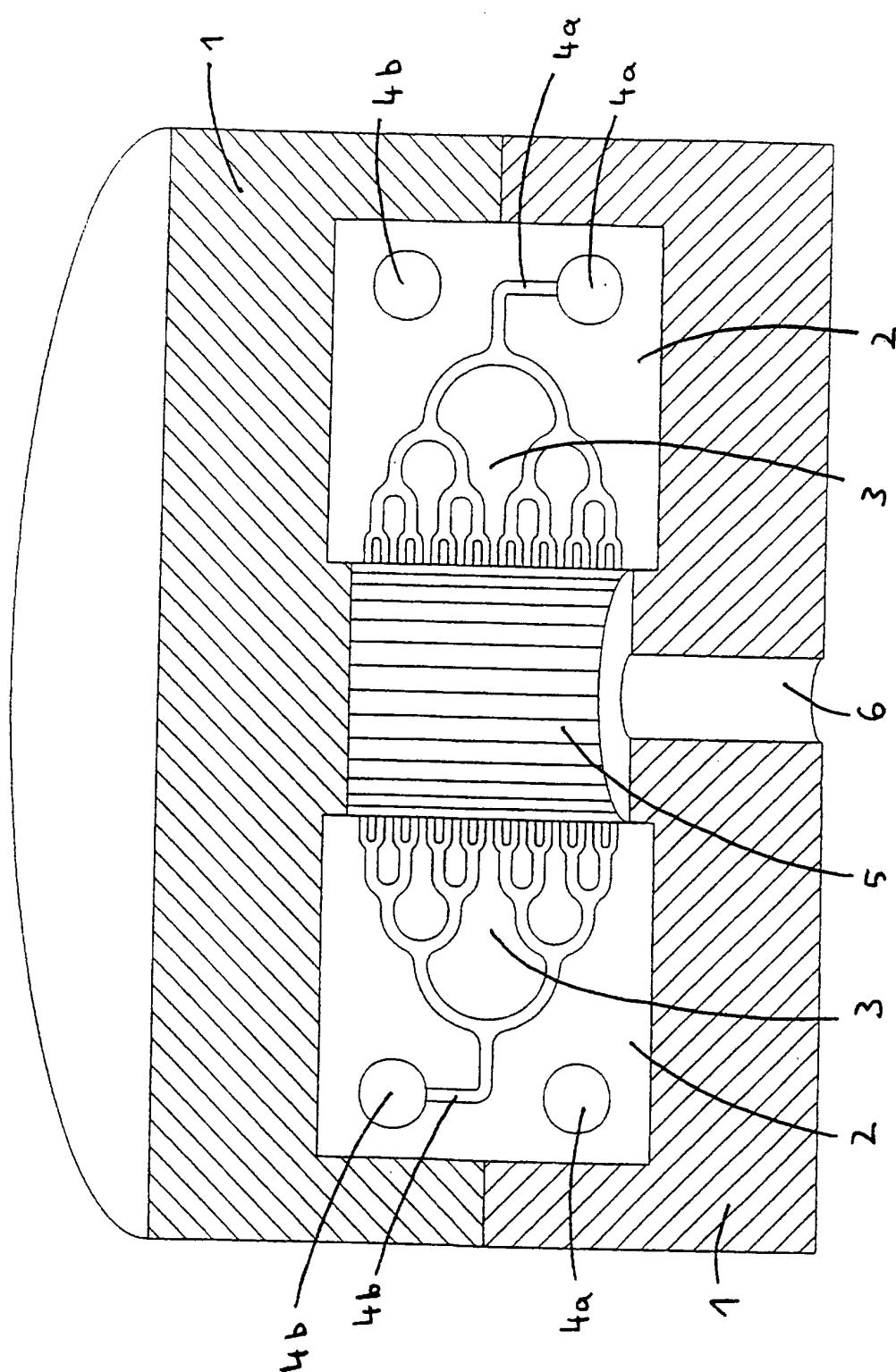


Fig. 2c)

Fig. 3a)

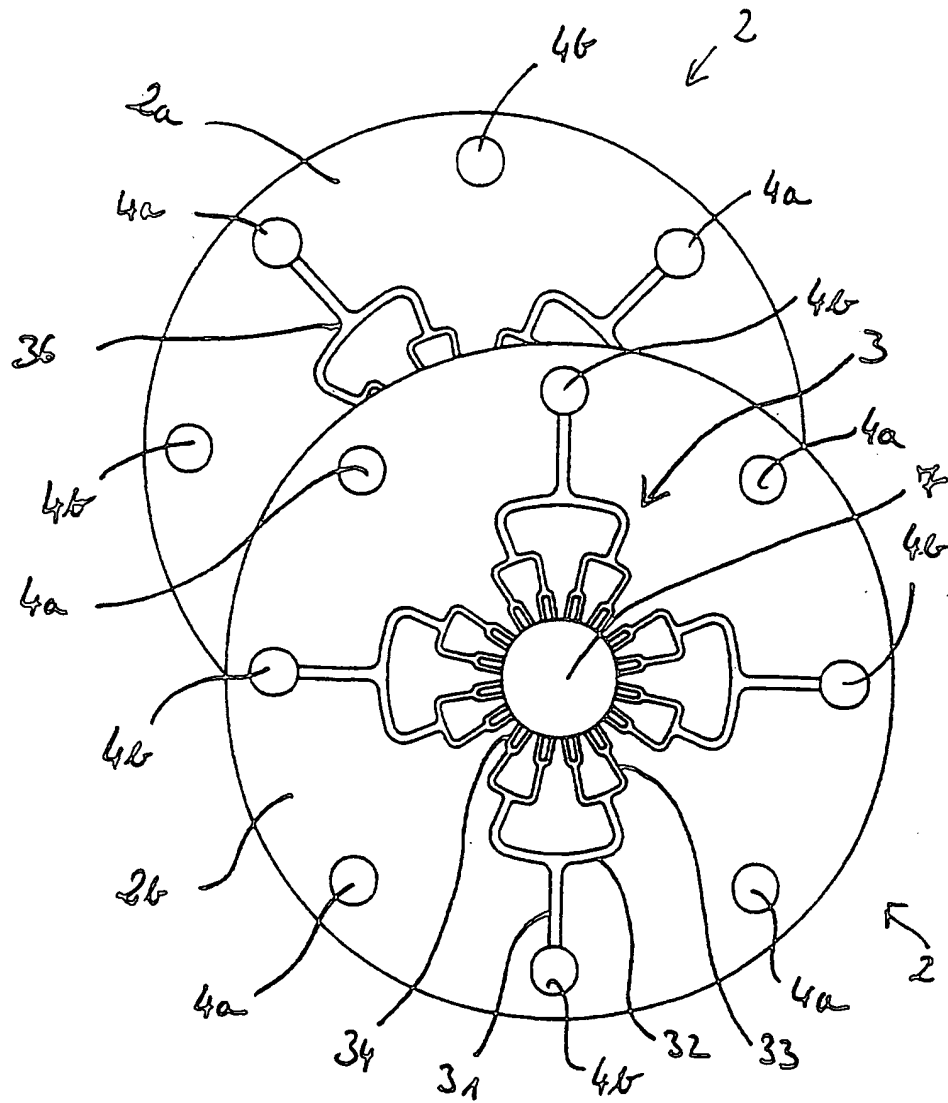


Fig. 3b)

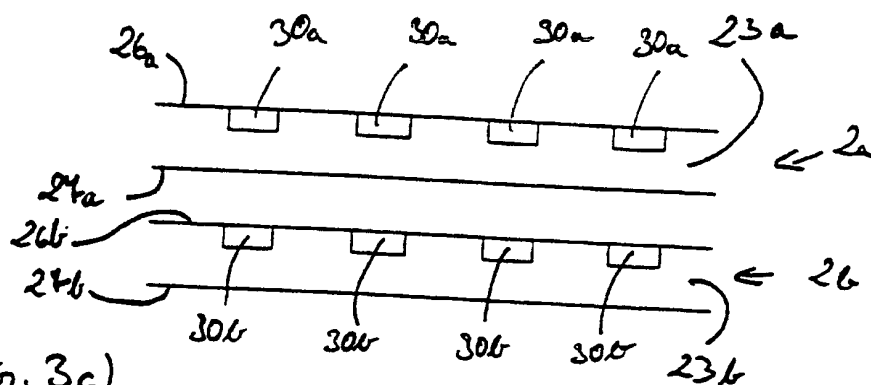


Fig. 3c)

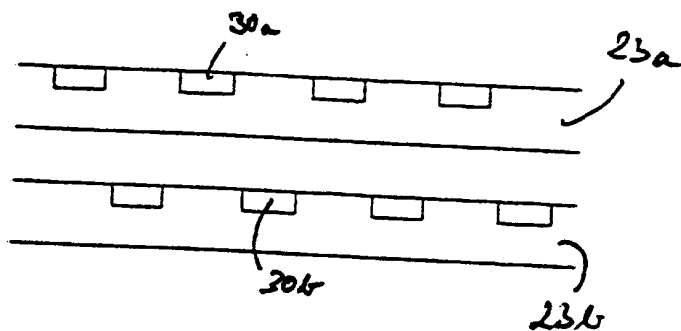
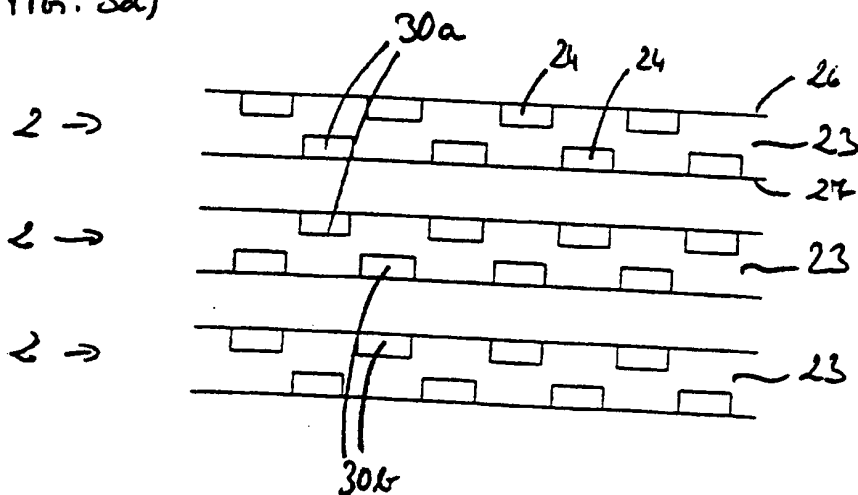


Fig. 3d)



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/12736

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 B01F5/06 B01J19/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B01F B01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 887 977 A (MORIKAWA HIDEYUKI) 30 March 1999 (1999-03-30) abstract; figures 2,4	15, 16, 20
Y	WO 94 21372 A (DU PONT) 29 September 1994 (1994-09-29) abstract page 7, line 2-14	15, 16, 20
A	EP 0 928 785 A (BAYER AG ;KARLSRUHE FORSCHZENT (DE)) 14 July 1999 (1999-07-14) abstract	15
	-/--	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 May 2001

Date of mailing of the international search report

21/05/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hoffmann, A

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat. Application No  
PCT/EP 00/12736

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>SCHUBERT K: "HIGH POTENTIALS. MIKROSTRUKTURAPPARATE FUER DIE CHEMISCHE UND THERMISCHE VERFAHRENSTECHNIK" CHEMIE. INGENIEUR. TECHNIK, DE, VERLAG CHEMIE GMBH. WEINHEIM, PAGE(S) 124-126, 128 XP000700153 ISSN: 0009-286X figure 3</p> <p>-----</p>	15



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No  
PCT/EP 00/12736

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5887977 A	30-03-1999	EP 0920906 A JP 11253775 A	09-06-1999 21-09-1999
WO 9421372 A	29-09-1994	US 5534328 A AU 6409794 A BR 9405989 A DE 69413012 D DE 69413012 T EP 0688242 A JP 8508197 T US 5690763 A	09-07-1996 11-10-1994 26-12-1995 08-10-1998 25-03-1999 27-12-1995 03-09-1996 25-11-1997
EP 0928785 A	14-07-1999	DE 19800529 A	15-07-1999

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internat. Aktenzeichen

PCT/EP 00/12736

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 B01F5/06 B01J19/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B01F B01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 5 887 977 A (MORIKAWA HIDEYUKI) 30. März 1999 (1999-03-30) Zusammenfassung; Abbildungen 2,4	15,16,20
Y	WO 94 21372 A (DU PONT) 29. September 1994 (1994-09-29) Zusammenfassung Seite 7, Zeile 2-14	15,16,20
A	EP 0 928 785 A (BAYER AG ;KARLSRUHE FORSCHZENT (DE)) 14. Juli 1999 (1999-07-14) Zusammenfassung	15

-/--

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

15. Mai 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21/05/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Hoffmann, A

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internat. Aktenzeichen

PCT/EP 00/12736

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>SCHUBERT K: "HIGH POTENTIALS.  MIKROSTRUKTURAPPARATE FÜR DIE CHEMISCHE  UND THERMISCHE VERFAHRENSTECHNIK"  CHEMIE. INGENIEUR. TECHNIK, DE, VERLAG  CHEMIE GMBH. WEINHEIM, PAGE(S) 124-126, 128  XP000700153  ISSN: 0009-286X  Abbildung 3</p>	15

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationale Aktenzeichen

PCT/EP 00/12736

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5887977 A	30-03-1999	EP 0920906 A	09-06-1999
		JP 11253775 A	21-09-1999
WO 9421372 A	29-09-1994	US 5534328 A	09-07-1996
		AU 6409794 A	11-10-1994
		BR 9405989 A	26-12-1995
		DE 69413012 D	08-10-1998
		DE 69413012 T	25-03-1999
		EP 0688242 A	27-12-1995
		JP 8508197 T	03-09-1996
		US 5690763 A	25-11-1997
EP 0928785 A	14-07-1999	DE 19800529 A	15-07-1999

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☒ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK** (USPTO)